

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

22149

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

H05H 1/38 (2006.01)

H01T 19/04 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2011 - 24115**

(22) Přihlášeno: **14.06.2010**

(47) Zapsáno: **28.04.2011**

(73) Majitel:

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, CZ
Univerzita Karlova v Praze, Praha, CZ

(72) Původce:

Scholtz Vladimír Ing. Ph.D., Praha, CZ
Julák Jaroslav Doc. RNDr. CSc., Praha, CZ

(74) Zástupce:

Hák Janeček & Švestka, Patentová a známková kancelář, RNDr. Roman Hák, U
Průhonu 5, Praha 7, 17000

(54) Název užitého vzoru:

**Zařízení produkující nízkoteplotní plazma pomocí „kometárního“ DC
výboje za atmosférického tlaku pro lokální dekontaminaci a sterilizaci**

CZ 22149 U1

Zařízení produkující nízkoteplotní plazma pomocí „kometárního“ DC výboje za atmosférického tlaku pro lokální dekontaminaci a sterilizaci

Oblast techniky

- 5 Technické řešení se týká zařízení umožňujícího generování oblaku nízkoteplotního plazmatu zvláštního tvaru zvaného kometární výboj tvořícího se mezi dvěma hrotovými elektrodami. Zařízení je výhodně využitelné pro dekontaminaci až sterilizaci.

Dosavadní stav techniky

- Pro potřeby medicíny a dalších odvětví, jako je farmaceutický, potravinářský a jiný průmysl, hygiena výživy, mikrobiologie životního prostředí jsou významné metody dekontaminace, tj. 10 odstraňování nebo inaktivace patogenních i jiných mikroorganismů (přehled viz např. [1]). Rozlišují se různé stupně dekontaminace, označované jako dezinfekce, sanace, antiseptice, asepsy apod., až po sterilizaci definovanou jako úplné odstranění všech životaschopných forem mikroorganismů. Byla vyvinuta řada metod selektivní až úplné dezinfekce a sterilizace, založená na chemickém působení různých desinfekčních činidel, nebo na působení fyzikálních vlivů. Z nich jsou 15 obvyklé působení různých druhů elektromagnetického záření, hlavně UV a radioaktivního záření, nebo tepla. Výběr vhodné metody je přitom omezen vlastnostmi dekontaminovaného materiálu, zejména jeho možnými reakcemi s desinfekčním činidlem a jeho tepelnou stabilitou. Vzhledem k často protichůdným požadavkům na kvalitu desinfekčního či sterilizačního postupu, tj. na požadovaný stupeň dekontaminace, a na zachování vlastností zpracovávaného materiálu neexistuje 20 univerzální metoda dekontaminace. Průběžně jsou proto modifikovány známé a vyvíjeny nové metody dekontaminace.

Dekontaminace nízkoteplotním (studeným) plazmatem

- Za plazma se považuje ionizovaný plyn složený z iontů a elektronů, který vykazuje kolektivní chování a kvazineutralitu, tj. přibližnou rovnost koncentrací kladně a záporně nabitých částic.
- 25 Podle stupně ionizace se rozlišuje slabě ionizované plazma a silně ionizované plazma. Podle teploty se rozlišuje vysokoteplotní a nízkoteplotní plazma. Vysokoteplotní, termální nebo izotermické plazma se získá zahřátím neutrálního plynu na vysokou teplotu (10 až 20 000 K), při které mají elektrony a ionty přibližně stejnou teplotu. U nízkoteplotního, netermálního nebo neizotermického plazmatu se dodá ionizační energie pouze elektronům, které mají mnohem vyšší teplotu 30 než ionty s teplotou blízkou okolní teplotě. Ionty v plazmatu mají jen malou kinetickou energii a nedochází proto k termálnímu ohřevu materiálů, přicházejících do styku s nízkoteplotním plazmatem. Naopak elektrony mají velkou kinetickou energii, jsou vysoce reaktivní a způsobují excitaci atomů a molekul nebo produkci volných radikálů či nabitých částic.
- Nízkoteplotní plazma vzniká při různých druzích elektrických výbojů v plynech, např. korónovém, dielektrickém bariérovém nebo mikrovlnném výboji. Vlastnosti a povaha generovaného 35 plazmatu přitom závisí jak na povaze výboje a jeho elektrických parametrech, tak i na povaze plynu, v němž příslušný výboj probíhá. Mikrobicidní vlastnosti různých druhů plazmatu jsou v poslední době intenzivně studovány, přehled problematiky uvádí např. [2] nebo [3]. Jednou z významných aplikací je plazmový hořák zvaný „plasma jet“, „plasma pencil“ nebo „plasma needle“, generující plazma působením vysokofrekvenční cívky v proudu inertního nosného plynu 40 (viz [4], [5], [6]). Přestože byly princip a použití takovýchto zařízení již dlouho známy, generátor plazmatu založený na tomto principu byl přihlášeno k patentové ochraně až v roce 2006 [7]. Kromě toho existují komerční sterilizační zařízení, pracující na principu vysokofrekvenčních výbojů v uzavřené komoře plněné parami peroxidu vodíku nebo peroxoctové kyseliny, jakými jsou 45 Sterrad®100 (Johnson & Johnson Co.), Plazlyte™ (AbTox Inc.), nebo PE-200 (Plasma Etch Inc.).

Výzkum i aplikace jsou věnovány hlavně plazmatu generovanému střídavým resp. vysokofrekvenčním napětím, původci se již dříve zabývali plazmatem generovaným stejnosměrnými korónovými výboji typu „point-to-plane“ a „point-to-point“ ([8], [9], [10]).

Korónový výboj

- 5 Korónový výboj vzniká na ostrých hranách nebo hrotech elektrod, kde díky malému poloměru křivosti vzniká elektrické pole s velkou intenzitou. Korónový výboj může být realizován v uspořádání elektrod typu point-to-plane (hrot proti rovině): Jedna elektroda je hrotová, kolem ní se nachází malá ionizační oblast vysoké intenzity elektrického pole, která postačí na spuštění lavinové ionizace, vzniku iontů a volných elektronů. Druhá elektroda je tvořena plochým vodivým
- 10 materiálem. V prostoru mezi těmito elektrodami se nachází driftová oblast s nízkou intenzitou elektrického pole. V této oblasti nabitě částice interagují s neutrálními částicemi, nemají však již dostatečnou energii k jejich ionizaci. Podle polarity korónující elektrody rozlišujeme korónu kladnou (napětí korónující elektrody je vůči druhé elektrodě kladné) a korónu zápornou (napětí korónující elektrody je vůči druhé elektrodě záporné).
- 15 Druhým uspořádáním je typ point-to-point (hrot proti hrotu): obě elektrody jsou hrotové, mezi nimi se nachází oblast ionizace ve tvaru blízkém rotačnímu elipsoidu. Vznikající nabitě a reaktivní částice mohou interagovat s objekty vloženými do této oblasti.

Podstata technického řešení

- 20 Původci předloženého technického řešení našli dosud nepopsaný výboj, který byl nazván „kometární“. Tento výboj se tvoří za atmosférického tlaku ve vzduchu po vložení stejnosměrného vysokého napětí mezi dvěma hrotovými elektrodami uspořádanými tak, že alespoň hrotová část kladné elektrody je přikloněna směrem k záporné elektrodě, přičemž hrot kladné elektrody je proti hrotu záporné elektrody posunut směrem k patě záporné elektrody. Z kladné elektrody pak tryská proud ionizovaných částic a vytváří tak kometární oblak nízkoteplotního plazmatu.

- 25 Na základě výše uvedených zjištění původci navrhli zařízení, které umožňuje generování kometárního výboje a tedy oblaku nízkoteplotního plazmatu, a jeho praktické využití při dekontaminaci. Kromě toho je zařízení užitečné i pro další výzkum jevu kometárního výboje.

- Předložené technické řešení se týká zařízení, které je určeno ke generování oblaku nízkoteplotního plazmatu ve tvaru kometárního výboje vložním stejnosměrného vysokého napětí na elektrody uspořádané způsobem, který byl zmíněn výše a je dále podrobněji popsán.
- 30

- Předložené technické řešení konkrétně poskytuje zařízení pro generování kometárního výboje obsahující dvě elektrody, přičemž alespoň hrotová část kladné elektrody je přikloněna směrem k záporné elektrodě a hrot kladné elektrody je proti hrotu záporné elektrody posunut směrem k patě záporné elektrody. Po vložení stejnosměrného vysokého napětí na elektrody se tvoří kometární výboj.
- 35

- Osy hrotových částí elektrod výhodně svírají ostrý úhel, např. 10° až 80°, výhodněji 15° až 45°, nejvýhodněji 30°. Hrot kladné elektrody je oproti hrotu záporné elektrody výhodně posunut směrem k patě záporné elektrody, například o 0,5 až 5 mm, výhodněji o 1 až 2 mm. Vzdálenost hrotů elektrod je výhodně v rozmezí 2 až 20 mm, výhodněji 4 až 10 mm. Elektrody zařízení podle předloženého technického řešení jsou vytvořeny z libovolného kovu, např. oceli, ve tvaru tenké tyčinky, drátu či jehly s ostrým hrotem. Výhodně uspořádání elektrod bylo definováno výše a je demonstrováno v příkladech. Elektrody jsou nesené hlavicí z dielektrického materiálu, např. z teflonu, spojenou s držákem z dielektrického materiálu, např. z plastu. V hlavici je případně dále umístěn regulační prostředek, např. šroub, pro jemné nastavení vzdálenosti hrotů elektrod. Zařízení může být navíc opatřeno ochranným krytem elektrod z dielektrického materiálu, např. ve tvaru trubice.
- 40
- 45

Zařízení podle předloženého technického řešení může obsahovat i zdroj stejnosměrného vysokého napětí. Výhodným zdrojem je regulovatelný zdroj, který výhodně poskytuje napětí nejméně 4 kV, výhodně alespoň do 10 kV, a proud nejméně 50 μ A, výhodně alespoň do 500 μ A. Uvedený

zdroj nemusí být nutně součástí zařízení, ale zařízení k němu může být připojitelné. Ze zdroje je napětí vedeno například stíněným koaxiálním kabelem přes stabilizační odpor, například v rozmezí 1 až 100 M Ω , výhodně 5 až 30 M Ω , nejvýhodněji 20 M Ω . Intenzita a další vlastnosti kometárního výboje mohou být regulovány například vloženým napětím a vzdáleností elektrod.

- 5 Zařízení podle předloženého technického řešení je do jisté míry analogické se zařízeními popsanými ve stavu techniky ([4], [5], [6] a [7]). Analogie přitom spočívá v tom, že tato zařízení také generují proud nízkoteplotního plazmatu s vlastnostmi podobnými plazmatu generovanému výše popsaným zařízením. Zásadní a překvapivé rozdíly však spočívají v tom, že: a) zařízení podle
10 stavu techniky generují plazma pomocí vysokofrekvenčního napětí, zatímco zařízení podle předloženého technického řešení používá napětí stejnosměrné; b) zařízení podle stavu techniky používají k tvorbě a unášení plazmatu pomocný plyn různého složení (často inertní plyn, např. argon), zatímco zařízení podle předloženého technického řešení generuje proud plazmatu bez pomocného plynu. Díky použití stejnosměrného napětí a absenci zásobníku a přívodu pomocného plynu je zařízení podle předloženého technického řešení významně konstrukčně jednodušší a
15 tudíž levnější než dosavadní známá zařízení.

Parametry uváděné zde jako výhodné jsou výsledkem optimalizačních pokusů, další uváděné jsou podle potřeby možné. Podrobný popis výhodného provedení zařízení podle předloženého technického řešení a jeho použití jsou uvedeny v následujících příkladech a na připojených obrázcích. Odborník na základě popisu, příkladů a obrázků snadno přijde na určité modifikace a varianty
20 popsaného zařízení založeného na jevu kometárního výboje. Nicméně tyto varianty a modifikace spadají do rozsahu předloženého technického řešení definovaného v připojených nárocích na ochranu.

Přehled obrázků

- Obr. 1 Schematické znázornění vzniku kometárního výboje.
- 25 Obr. 2 Snímek kometárního výboje tryskajícího z kladné elektrody (vpravo) pod zápornou elektrodou (vlevo).
- Obr. 3 Schéma zařízení produkujícího nízkoteplotní plazma pomocí kometárního výboje.
- Obr. 4 Snímek prototypu zařízení pro generování kometárního výboje.
- Obr. 5 Inhibiční zóna vytvořená kometárním výbojem v kontinuálním růstu *Escherichia coli* na živném agaru.
30
- Obr. 6 Dekontaminace pokožky předloktí kometárním výbojem.

Příklady provedení technického řešení

Příklad 1

Popis zařízení

- 35 Konkrétní provedení zařízení (schéma na obr. 3 a fotografie prototypu na obr. 4) je tvořeno teflonovou hlavicí 1 ve tvaru válce (o průměru 40 mm a délce 20 mm) nesoucí elektrody 2a, 2b, a držákem 3 z plastu o délce přibližně 200 mm. Elektrody jsou upevněny v hlavici tak, že jejich části vzdálenější od hrotu jsou rovnoběžné. První elektroda 2a je v hrotové části zahnutá v úhlu 30°, druhá elektroda 2b je rovná. V hlavici 1 je umístěn regulační šroub 4, umožňující jemné
40 nastavení vzdálenosti elektrod. Elektrody 2a, 2b jsou tvořeny lékařskými injekčními jehlami, jako výhodné se ukázaly jehly o rozměru 0,7 × 40 mm. Jehly 2a, 2b jsou upevněny v upínacím prostředku 5 (kónusu injekční stříkačky) a jsou vyměnitelné podle potřeby dané případným požadavkem na jinou velikost elektrody (jehly), nebo opotřebením či poškozením jejich hrotu. Podle potřeby mohou být nahrazeny jehlami jiných rozměrů, nebo i elektrodami z jiného kovového
45 materiálu s ostrým hrotem. Upínací prostředky (kónusy) 5 jsou fixovány v obalu z plastové trubičky a vsunuty do výřezu hlavice 1. Jehlové elektrody 2a, 2b jsou uloženy paralelně tak, že hrot

první (zahnuté) elektrody 2a je oproti hrotu druhé (rovné) elektrody 2b o 1 až 2 mm blíže k patě rovné elektrody 2b, měřeno od roviny, která prochází hrotem elektrody 2b a je kolmá na podélnou osu elektrody 2b rovnoběžnou s osou o držáku 3. Vzdálenost hrotů elektrod 2a, 2b je regulačním šroubem 4 nastavitelná v rozmezí 4 až 10 mm. Na hlavici 1 může být upevněn ochranný kryt elektrod 9, tvořený trubicí z dielektrického materiálu (o průměru 40 mm a délce 100 mm); tyto rozměry jsou variabilní podle požadavků příslušné aplikace. Zařízení je připojeno ke zdroji 6 vysokého napětí regulovatelného v rozmezí 0 až 10 kV, schopného poskytovat proud v rozmezí 0 až 500 μA . Aktuální hodnota proudu je kromě nastavitelného napětí závislá na vzdálenosti hrotů elektrod 2a, 2b. Ze zdroje 6 je napětí vedeno stíněným koaxiálním kabelem 7 přes stabilizační odpory 8 velikosti 20 $\text{M}\Omega$ na elektrody 2a, 2b připojené tak, že kladný pól je spojen s první (zahnutou) elektrodou 2a a záporný pól s druhou (rovnou) elektrodou 2b. Schéma elektrického obvodu je v podstatě jednoduché, jak je uvedeno na obr. 1, a zapojení a jeho případné modifikace jsou odborníkovi jasné. Po zapnutí zdroje 6 se na kladné elektrodě 2a tvoří kometární výboj, tj. proud ionizovaných částic do vzdálenosti přibližně 5 až 10 mm (viz obr. 1 a obr. 2). Jeho intenzita a další vlastnosti mohou být regulovány vloženým napětím a vzdáleností elektrod 2a, 2b nastavitelnou regulačním šroubem 4.

Stabilní výboj byl u výše popsaného provedení udržitelný při vzdálenosti elektrod 2a, 2b v rozmezí 4 až 10 mm a napětí 4,4 až 8,8 kV, čemuž odpovídá rozmezí proudu 50 až 400 μA .

Příklad 2

Použití zařízení pro dekontaminaci

Baktericidní vlastnosti plazmatu generovaného zařízením podle předloženého technického řešení a možnosti jeho použití byly ověřovány pokusy *in vitro* a *in vivo*.

Použití pro dekontaminaci *in vitro*

Působením výboje na bakterie inokulované na povrch kultivační půdy ve velké koncentraci 10^6 cfu ml^{-1} vznikaly inhibiční zóny vějířovitého tvaru. V nich byl růst bakterií inhibován natolik, že zde oproti kontinuálnímu růstu v neexponované oblasti vyrůstaly jen ojedinělé bakteriální kolonie, což dokumentuje dekontaminační efekt výboje, resp. oblaku nízkoteplotního plazmatu generovaného výbojem. Výsledek jednoho z těchto pokusů za použití bakterie *Escherichia coli* je uveden na obr. 5. Při testech s jinými druhy mikroorganismů, zejména *Staphylococcus aureus* a *Candida albicans* byl pozorován podobný efekt.

Působení na bakterie v tekuté kultuře bylo ověřováno v kapce bakteriální suspenze *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus* umístěné na hydrofobním povrchu silikonové pryže a následným vyočkováním této suspenze na polotuhé kultivační médium (živný agar). Úplná deaktivace bakterií exponovaných působení výboje, tj. žádný růst po vyočkování, byla zjištěna již po jedné až dvou minutách expozice. Tato doba závisela na druhu exponované bakterie a byla obecně delší u Gram-negativních a kratší u Gram-pozitivních bakterií.

Použití pro dekontaminaci *in vivo*

V pokusech *in vivo* (viz obr. 6) byl výbojem ošetřen povrch lidské pokožky, pokrytý za normálních okolností fyziologickou kožní mikroflórou. V ošetřené oblasti byly stěrem tampónem a vyočkováním na živný agar nalezeny signifikantně menší počty bakterií než na neošetřené pokožce. V těchto pokusech bylo v ošetřené oblasti zjištěno oproti kontrole snížení počtu bakterií asi o 50 %, dalšího snížení je možno dosáhnout optimalizací parametrů výboje.

Z výsledků výše popsaných pokusů vyplývá možnost uplatnění zařízení podle předloženého technického řešení pro dekontaminaci malých ploch a malých objemů kapalin v medicíně a příbuzných oborech.

Seznam citované literatury:

- [1] Julák J.: Úvod do lékařské bakteriologie. Karolinum, Praha, 2006. ISBN 80-246-1270-4.
- [2] Laroussi M.: Low temperature plasma-based sterilization: Overview and state-of-the-art. Plasma Process. Polym. 2 (2005) 391-400.
- 5 [3] Fridman G., Friedman G., Gutsol A., Shekhter A.B., Vasilets V.N., Fridman A.: Applied plasma medicine. Plasma Proces. Polym. 5 (2008) 503-533.
- [4] Stoffels E., Flikweert A.J., Stoffels W.W., Kroesen G.M.W.: Plasma needle: a non-destructive atmospheric plasma source for fine surface treatment of (bio)materials. Plasma Sources Sci. Technol. 11 (2002) 383-388.
- 10 [5] Sladek R.E.J., Stoffels E.: Deactivation of *Escherichia coli* by the plasma needle. J. Phys. D. Appl. Phys. 38 (2005) 1716-1721.
- [6] Coulombe S., Léveillé V., Yonson S., Leask R.L.: Miniature atmospheric pressure glow discharge tool (APGD-t) for local biomedical applications. Pure Appl. Chem. 78 (2006) 1147-1156.
- 15 [7] Laroussi M.: WO 2006/096716 A2.
- [8] Scholtz V., Julák J., Kříha V., Mosinger J.: Decontamination effects of low-temperature plasma generated by corona discharge. Part I: an overview. Prague Med. Rep. 108, 115-127 (2007).
- [9] Scholtz V., Julák J., Kříha V., Mosinger J., Kopecká S.: Decontamination effects of low-temperature plasma generated by corona discharge. Part II: new insights. Prague Med. Rep. 108, 128-146 (2007).
- 20 [10] Scholtz V., Julák J., Kříha V.: The microbicidal effect of low-temperature plasma generated by corona discharge: Comparison of various microorganisms on an agar surface or in aqueous suspension. Plasma Process. Polym. 7, 237-243, (2010).

25

NÁROKY NA OCHRANU

1. Zařízení vytvářející kometární výboj poskytující nízkoteplotní plazma, **vyznačující se tím**, že obsahuje dvě elektrody (2a, 2b), kde alespoň hrotová část kladné elektrody (2a) je přikloněna směrem k záporné elektrodě (2b), přičemž hrot kladné elektrody (2a) je proti hrotu záporné elektrody (2b) posunut směrem k patě záporné elektrody (2b), takže po vložení stejnosměrného vysokého napětí na elektrody (2a, 2b) se tvoří kometární výboj.
- 30 2. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že kladná elektroda (2a) je přikloněna směrem k záporné elektrodě (2b) tak, že osy hrotových částí elektrod svírají ostrý úhel, výhodně 10° až 80°, výhodněji 15° až 45°, a nejvýhodněji 30°.
3. Zařízení podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že hrot kladné elektrody (2a) je proti hrotu záporné elektrody (2b) posunut směrem k patě záporné elektrody (2b) o 0,5 až 5 mm, výhodněji o 1 až 2 mm.
- 35 4. Zařízení podle kteréhokoliv z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že vzdálenost mezi hrotem kladné elektrody (2a) a hrotem záporné elektrody (2b) je 2 až 20 mm, výhodněji 4 až 10 mm.
- 40 5. Zařízení podle kteréhokoliv z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje zdroj (6) stejnosměrného vysokého napětí.

6. Zařízení podle nároku 5, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že zdroj (6) poskytuje regulované stejnosměrné vysoké napětí nejméně 4 kV a proud nejméně 50 μ A.

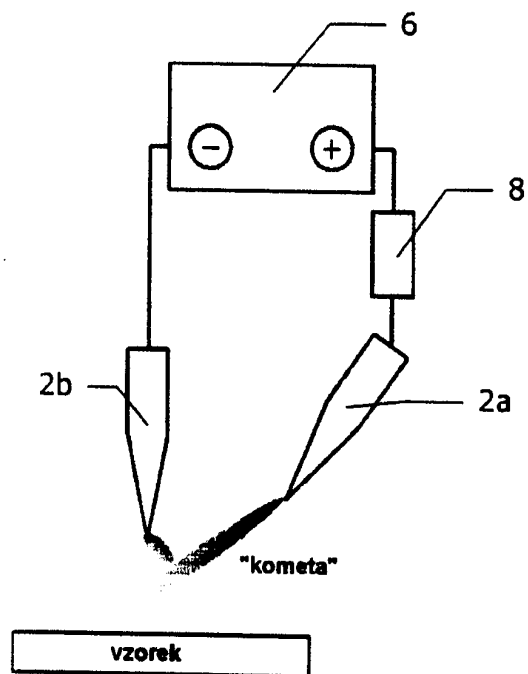
3 výkresy

5

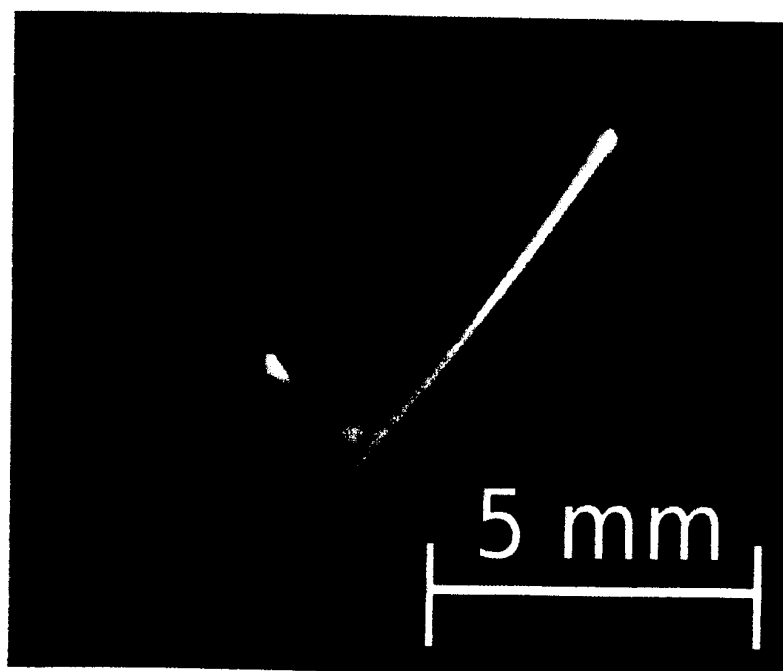
Seznam vztahových značek:

- 1 - hlavice
- 2a - kladná elektroda
- 2b - záporná elektroda
- 10 3 - držák
- 4 - regulační šroub
- 5 - upínací prostředek pro elektrody
- 6 - zdroj vysokého napětí
- 7 - koaxiální kabel
- 15 8 - stabilizační odpory
- 9 - ochranný kryt
- o - osa držáku.

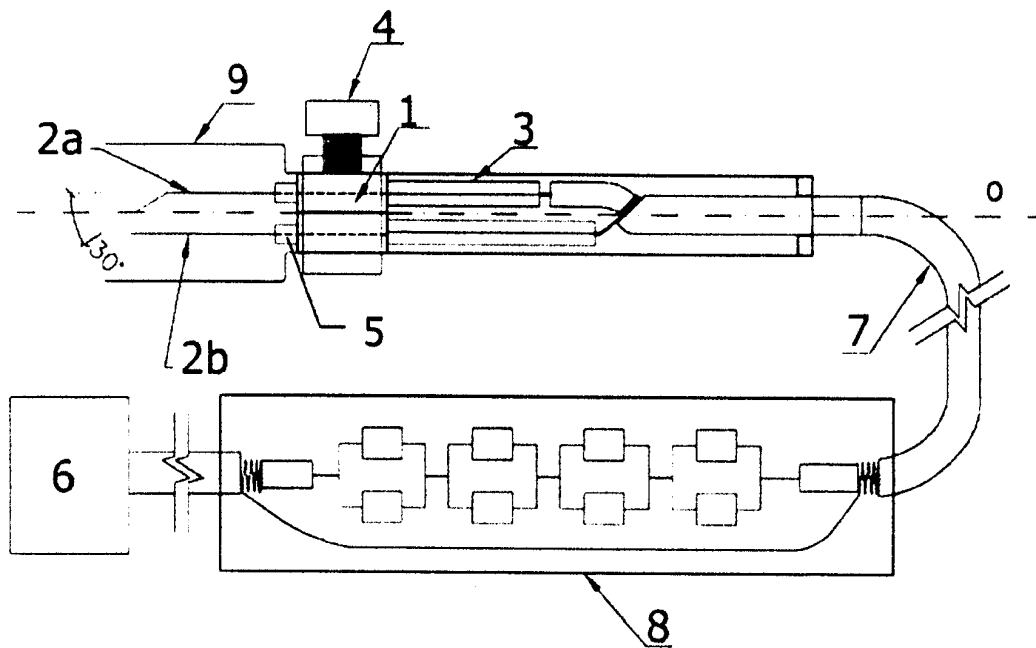
Obr. 1



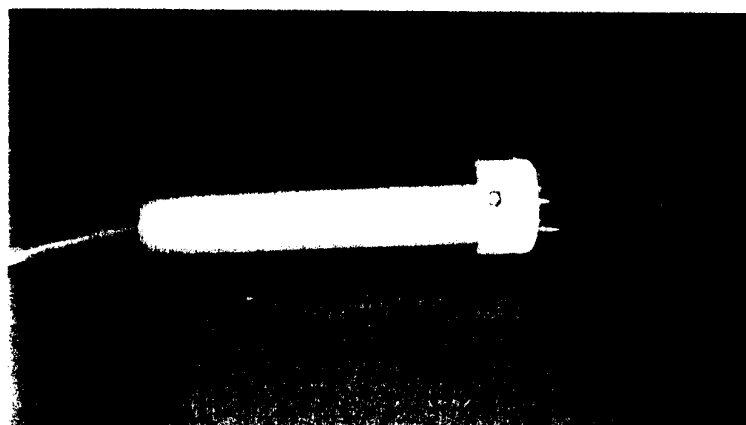
Obr. 2



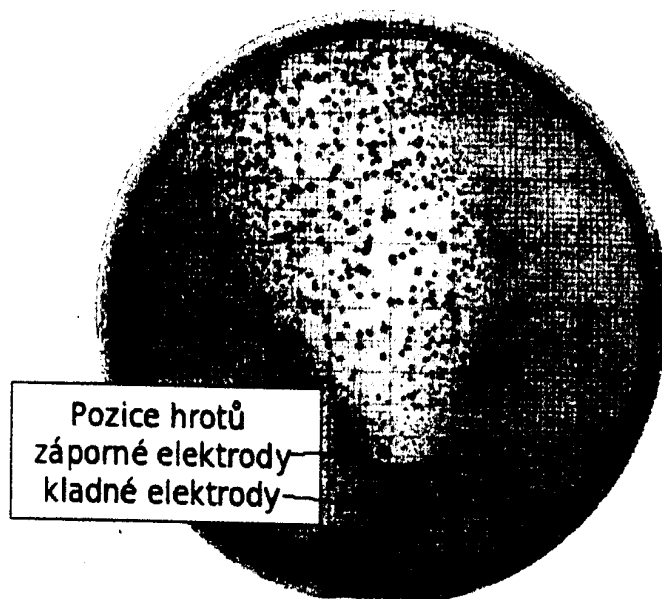
Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6



Konec dokumentu